

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.



« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро– и теплотехника

Направленность (специальность) 05.04.03 Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины

«Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.04.03 «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения», утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение методов и подходов к созданию и использованию вакуумных систем в различных установках, приобретение навыков выполнения на этой основе соответствующих инженерных расчетов.

Задачами дисциплины являются:

- изучение экспериментальных и расчетных методов исследования процессов тепломассопереноса в однофазных, двухфазных средах, на поверхности раздела фаз, в квантовых жидкостях при ограничениях, вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники;
- освоение методов термодинамического анализа процессов сжатия, расширения, фазовых превращений, охлаждения, криостатирования, сжижения, конденсации в жидкое и твердое состояние рабочих тел;
- ознакомление с основными аппаратами криогенной техники, методиками их расчета, подбора и условиями эксплуатации в технологических процессах разделения, очистки и получения сжиженных и сжатых промышленных и сверхчистых газов, в том числе природного газа;
- решение конструкторских, технологических и технико-экономических проблем по разработке и оценке преобразователей энергии, используемых в холодильной и криогенной технике, в системах кондиционирования и жизнеобеспечения.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного

системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);

- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);

- готовность осуществлять комплексные исследования общих свойств и принципов функционирования машин и аппаратов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения, разрабатывать научно-методические основы создания систем установок и агрегатов и рабочих тел с планируемыми свойствами (ПК-1);

- готовность развивать и реализовывать энергосберегающие технологии при создании машин и аппаратов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения (ПК-4);

- готовность создавать автоматизированные базы данных по важнейшим элементам низкотемпературных систем для целей оптимального проектирования (ПК-5);

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

знать:

- историю развития криогенной техники, этапы получения сжиженных чистых газов, сверхтекучего гелия, развития каскадных холодильных установок, ректификационных колонн (УК-3, ПК-1);

- способы оценки погрешностей в эксперименте (УК-2);

- расчетно-теоретические и экспериментальные методики исследования процессов тепломассопереноса в однофазных, двухфазных

средах, на поверхности раздела фаз, в квантовых жидкостях при ограничениях, вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (УК-4, ОПК-4);

- основы теории и принципы построения и расчета холодильных и криогенных систем различного назначения (ПК-4).

уметь:

- проектировать с учетом результатов термодинамического и теплового расчетов технологические линии для криостатирования объектов на любом уровне температур при ограничениях, вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (УК-1, ПК-1);

- следовать принципам технологической безопасности для людей и окружающей среды при выборе оборудования (УК-5, ПК-5);

- описывать полученные в процессе экспериментальных и теоретических исследований данные (УК-6, ПК-5);

владеть:

- методологий выбора оборудования для проведения экспериментальных исследований, с учетом теплового и гидравлического их расчета (УК-2)

- способами представления информации для широкой аудитории: схемы криовакуумных установок, назначение технологических линий, приборов, методики расчета процессов захлаживания, ожижения, криостатирования, особенности работы при низких температурах. (ОПК-3);

- расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования криовакуумных систем различного назначения (ПК-4).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Термодинамические основы техники низких температур и кондиционирования

Криология как наука о холоде, методах его получения и использования. Области практического использования низких температур. Основные процессы, используемые для получения низких температур. Кратковременное и непрерывное охлаждение. Пути уменьшения затрат при генерации холода.

Особенности применения принципов термодинамики и механики для анализа и расчета низкотемпературных систем. Температурные шкалы. Единицы измерения температуры. Единицы измерения производительности тепла и холода.

Основные задачи техники низких температур – поиск идеальных циклов и минимизации затрат для процессов охлаждения, криостатирования,

конденсации в жидкое и твердое состояния, очистки и разделения газов, ожижения газов.

«Производство» энтропии. Источники необратимости. Энтропийный и эксергетический методы анализа низкотемпературных процессов, циклов, установок. Распределение затрат энергии по элементам низкотемпературных установок и систем. Теорема Гюи-Стодола. Степень термодинамического совершенства.

Идеальное и реальное газовое состояние. Виды уравнений состояния. Методы определения термодинамических параметров. Термодинамические свойства смесей и методы их определения. Тепловые диаграммы и таблицы термодинамических свойств. Анализ процессов с помощью тепловых диаграмм. Равновесные состояния чистых веществ и смесей при фазовых переходах.

Анализ процессов с переменной массой.

Анализ процессов, сопровождающихся в адиабатных условиях уменьшением температуры: дросселирование, изоэнтропное расширение, выхлоп, расширение газа в вихревой трубе, откачка паров кипящих жидкостей, насыщение ненасыщенных паров при барботаже, растворение гелия-3 в гелии-4, охлаждение в пульсирующем потоке, процессы смешения, температурная стратификация в газодинамических системах.

Процессы получения низких температур с рабочими веществами в твердом состоянии: термоэлектрическое охлаждение, адиабатное размагничивание, электромагнитнотермический эффект охлаждения, десорбционное охлаждение, тепловой эффект дегидрирования интерметаллидов.

Энергетические характеристики охлаждающих систем (удельная холодопроизводительность, коэффициент ожижения, удельная работа, холодильный коэффициент, коэффициент удельных затрат мощности). Степень термодинамического совершенства реальных систем.

Теория тепло- и массопереноса

Теплопроводность

Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.

Конвективный теплообмен

Классификация и характеристика процессов конвективного теплообмена. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Основные понятия и соотношения теории пограничного слоя.

Теплоотдача в трубах и каналах. Анализ теплообмена при ламинарном режиме движения. Теплообмен при естественной (свободной) конвекции. Условие отсутствия естественной конвекции. Анализ теплообмена на основе

соотношений теории пограничного слоя. Основы теории подобия и моделирования. Свойства подобных процессов. Критерии подобия и уравнения подобия.

Теплообмен излучением

Основные понятия и законы. Спектр излучения черного тела - закон Планка. Интегральное излучение черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Излучательная способность и степень черноты. Закон Кирхгофа. Интенсивность излучения и закон Ламберта.

Теплообмен при фазовых превращениях

Общие положения. Классификация процессов фазовых превращений. Соотношения баланса полных потоков вещества, импульса и энергии на границе раздела фаз при фазовых переходах. Теплообмен при конденсации пара. Пленочный и капельный режимы конденсации. Теория Нуссельта и ее последующие уточнения. Теплообмен при кипении жидкости. Режимы кипения. Механизм и теплоотдача при пузырьковом режиме кипения. Гидродинамическая теория первого кризиса кипения, механизм и теплоотдача при пленочном режиме кипения. Второй кризис процесса кипения.

Особенности теплообмена при плавлении и сублимации. Упрощенные схемы процессов. Анализ условий переноса тепла и закономерности теплообмена.

Процессы тепло- и массообмена

Классификация процессов тепло- и массообмена. Закон Фика. Система дифференциальных уравнений конвективного тепло- и массообмена. Граничные условия на проницаемых поверхностях, диффузионный пограничный слой. Закономерности совместного переноса массы, импульса и энергии. Аналогия процессов переноса массы, импульса и энергии (тройная аналогия). Влияние поперечного потока вещества на интенсивность процессов переноса.

Основы криофизики

Принципы физики конденсированных систем

Параметры конденсированного тела. Параметр взаимодействия. Параметр де Бройля. Концепция элементарных возбуждений. Энергетический спектр конденсированного тела. Кристаллическая решетка. Коллективные колебания кристаллической решетки. Фононы. Акустические и оптические фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Модель Дебая.

Основы физики сверхпроводимости

Основные опытные факты. Тепловые свойства сверхпроводников. Феноменологические теории сверхпроводимости: Термодинамическая теория Гортера-Казимира. Двухжидкостная модель Лондонов. Теория Гинзбурга-

Ландау. Два типа сверхпроводников. Сверхпроводники I рода в магнитном поле. Промежуточное состояние. Сверхпроводники II рода в магнитном поле: смешанное состояние, квантование магнитного потока и вихри Абрикосова. Резистивное состояние сверхпроводников и пиннинг. Жесткие сверхпроводники. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Элементы физической кинетики

Основные понятия и определения: потенциалы взаимодействия, функция распределения молекул газа по скоростям, моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания. Кинетическое уравнение Больцмана.

Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в HeII

Гелий – квантовая жидкость. Опытные факты и наблюдения. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау : допущения (предположения) и математическое описание. Распространение звука в He-II. Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II. Режим сопротивления П.Л.Капицы. Описание стационарного теплопереноса в He-II при ламинарном движении нормальной компоненты. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики. Критические скорости в He-II. Сила взаимного трения Гортера-Меллинка.

Криогенная техника

Основные этапы развития мировой и отечественной криогенной техники. Рабочие тела криогенных систем и их свойства.

Классические и реальные циклы. Циклы Линде, Клода, Гейландта, Капицы, Клименко, Лондона, Брайтона, Стирлинга, Гиффорда—МакМагона) для охлаждения, термостатирования и ожижения газов.

Циклы с дросселированием. Детандерные циклы. Комбинированные циклы с дросселированием и расширением в детандере. Многоступенчатые циклы. Типовые ступени охлаждения. Холодопроизводящие процессы в циклах. Холодопроизводительность произвольного цикла. Виды потерь при определенной холодопроизводительности. Полезная холодопроизводительность. Методология расчета циклов.

Криогенные рефрижераторы. Особенности работы и основы теплового расчета в режимах криостатирования. Пути совершенствования.

Ожижители. Особенности организации циклов и основы расчета. Ожижители гелия и водорода, их устройство и особенности расчета. Пути совершенствования. Ортопароконверсия водорода.

Использование газовых смесей в качестве рабочих тел криогенных установок. Однопоточный многокаскадный цикл.

Поршневые детандеры, принцип действия, идеальная и действительная индикаторные диаграммы, расчетная модель действительного цикла. Основные виды потерь холодопроизводительности. Конструкции поршневых детандеров, пути их совершенствования.

Принципы действия турбодетандеров. Основные понятия, схемы и типы турбодетандеров. Основные энергетические соотношения для турбодетандера и его элементов. Область применения турбодетандеров, перспективные направления в их развитии и совершенствовании.

Влажно-паровые и жидкостные детандеры, особенности их работы, методы расчета.

Криогенные газовые машины (Гиффорда—МакМагона, Стирлинга, Вюлемье—Такониса и др.). Основные особенности рабочего процесса машин со встроенными теплообменными аппаратами. Методика расчета.

Рекуперативные теплообменники. Классификация и конструктивные схемы (трубчатые, пластинчато-ребристые, матричные). Сравнительные характеристики теплообменников. Методы теплового и гидравлического расчета теплообменников, пути их совершенствования.

Конденсаторы-испарители, вымораживатели. Специфика фазовых переходов при криогенных температурах. Основы расчета аппаратов.

Схемы, устройство и принцип работы ректификационных колонн. Колонны с регулярными насадками. Расчет процесса разделения бинарной смеси. Определение ЧЕП и ВЭТТ. Пути совершенствования ректификационных колонн.

Физические основы процессов сорбции. Адсорбенты, их виды и свойства. Сорбционные методы очистки и разделения газовых смесей, методы расчета.

Виды тепловой изоляции. Физическая картина переноса тепла в изоляции. Основные характеристики и области применения различных видов тепловой изоляции. Удельные потоки теплоты через изоляцию.

Емкости для хранения криогенных жидкостей, процессы в емкостях. Криостаты. Расчет теплопритоков через изоляцию и по элементам конструкций.

Пусковые режимы криогенных установок. Факторы, влияющие на длительность пускового периода. Автоматизация режимов работы криогенных установок, методы обеспечения их технической и экологической безопасности.

Холодильная техника

Основные этапы в истории развития мировой и отечественной холодильной техники.

Способы получения умеренно низких температур (до 120 К). Типы холодильных установок (парокомпрессионные, парожекторные, газовые, абсорбционные, термоэлектрические и др.), принципы их действия.

Теоретический цикл парокомпрессионной холодильной машины. Сравнение парокомпрессионного цикла с обратным циклом Карно. Действительный цикл парокомпрессионной холодильной машины. Производство энтропии и степень термодинамического совершенства действительного цикла. Удельные величины холодопроизводительности и работы.

Циклы многоступенчатых и каскадных холодильных установок. Причины применения сложных циклов. Варианты многоступенчатых циклов и их сравнительные характеристики.

Теоретические и действительные циклы воздушных холодильных машин. «Русский» (вакуумный) цикл – Мартыновского, Туманского, Дубинского. Основы расчета циклов воздушных холодильных машин, области применения машин и пути их совершенствования.

Схемы и циклы теплоиспользующих холодильных установок: абсорбционных и парожекторных. Отображение рабочих процессов в тепловых диаграммах.

Рабочие вещества парокомпрессионных холодильных машин, их классификация. Теплофизические свойства и эксплуатационные характеристики однокомпонентных рабочих веществ. Показатели «озонной» и «парниковой» опасности (ODP и GWP). Смазка холодильных компрессоров. Типы масел.

Азеотропные и неазеотропные смеси. Их свойства и области применения. Основные преимущества и недостатки холодильных установок, использующих неазеотропные смеси.

Объемные холодильные компрессоры: поршневые, винтовые, спиральные и ротационные. Принцип действия, основные характеристики, области применения и пути совершенствования.

Идеальная и действительная индикаторные диаграммы поршневого компрессора. Коэффициент подачи. Математические модели действительных процессов и оценка эффективности объемных компрессоров. Характеристики холодильных, объемных компрессоров.

Центробежные и струйные компрессоры, их принцип действия, основные характеристики, области применения и пути совершенствования.

Процессы в элементах центробежного компрессора. Уравнения удельной работы и степени повышения давления в ступени, производство энтропии в ступени. Основы расчета.

Типы испарителей – кожухотрубные, затопленные и с кипением внутри труб, панельные, оросительные. Физическая картина процессов в испарительных аппаратах разных типов. Основы расчета испарителей, пути их совершенствования.

Типы конденсаторов – кожухотрубные, оросительные и испарительные, с воздушным охлаждением. Особенности теплофизических процессов в конденсаторах. Теплоотдача к окружающей среде – воде или воздуху. Проблема сокращения расхода охлаждающей воды.

Автоматизация работы холодильных машин и установок. Приборы и системы автоматики для регулирования и защиты холодильных машин и установок. Применение микропроцессорной техники для программного регулирования. Экологическая и эксплуатационная безопасность.

Машины и аппараты систем кондиционирования и жизнеобеспечения

Комфортное и технологическое кондиционирование. Основные требования, предъявляемые к системам кондиционирования и жизнеобеспечения, перспективы их развития.

Очистка микроатмосферы от CO_2 и других примесей. Различные виды микроатмосферы (N_2O_2 , HeO_2). Пределы по альвеолярному воздуху. Проблемы безопасности.

Тепловой баланс организма человека. Влияние параметров окружающей среды на организм человека. Комфортные параметры для условий труда и отдыха.

Тепловой и влажностный балансы помещения. Определение параметров кондиционируемого воздуха, подаваемого в помещение. Определение тепловой нагрузки на кондиционер. Расчет тепло- и влагопритоков. Пути совершенствования способов кондиционирования

Системы кондиционирования. Централизованная система кондиционирования. Структура и варианты схемных решений. Основы расчета. Локальная и централизованно-локальная система кондиционирования. Процессы термовлажностной обработки воздуха в системах. Основы расчета систем кондиционирования, рациональные области их применения, пути совершенствования.

Особенности построения схем и выбора оборудования для кондиционирования различных объектов (промышленных и общественных зданий, жилых помещений и транспортных средств).

Основные особенности авиационных систем кондиционирования, их схемы и особенности расчета.

Холодильные машины, применяемые при кондиционировании воздуха. Основные требования, предъявляемые к таким машинам. Характеристики машин.

«Сухие» воздухоохладители, их конструкции. Процессы, протекающие в сухом воздухоохладителе. Основы теплового и гидравлического расчета.

«Мокрые» воздухоохладители, принцип действия и устройство. Физическая картина протекающих в них процессов. Основы расчета.

Способы осушки и увлажнения воздуха. Расчеты холодильно-сушильных агрегатов (ХСА).

Типы вентиляторов, их характеристики и конструкции. Подбор вентиляторов.

Системы автоматического регулирования кондиционеров и параметров кондиционируемого воздуха. Принцип построения систем регулирования. Конструкция и принцип действия основных агрегатов системы регулирования.

Очистка воздуха от пыли и аэрозолей. Типы пылеотделителей, принцип действия и основные характеристики. Расчет фильтров. Экологическая и техническая безопасность. Системы регенерации среды обитания. Математическое моделирование элементов систем жизнеобеспечения. Расчет систем жизнеобеспечения, их техническая и экологическая безопасность.

Основы низкотемпературной трансформации тепла

Роль и назначение трансформаторов тепла. Их классификация. Циклические, квазициклические и нециклические процессы трансформации тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы.

Парожидкостные компрессионные трансформаторы тепла. Удельные энергозатраты и КПД парожидкостных компрессионных трансформаторов. Холодильные коэффициенты и коэффициенты трансформации. Регенеративный теплообмен, его эффективность и целесообразная область использования.

Низкотемпературное разделение газовых смесей. Особенности криорефрижераторов, систем сжижения и замораживания. Криорефрижераторы с различными сочетаниями ступеней предварительного и окончательного охлаждения, их энергетический анализ и КПД. Низкотемпературная тепловая изоляция, ее виды и особенности. Свойства газовых смесей и характеристики методов их разделения. Идеальные процессы низкотемпературного разделения газовых смесей, технические процессы низкотемпературного разделения смесей.

Вакуумная техника

Основные понятия и области применения вакуумной техники. Единицы измерения давления в вакуумной технике. Состав сухого атмосферного

воздуха. Скорость движения молекул газа. Средняя длина свободного пробега. Основные характеристики вакуумных насосов. Основное уравнение вакуумной техники. Режимы течения газа. Расчет проводимости в молекулярном и вязкостном режимах. Виды насосов для достижения низкого давления. Криовакуумная техника. Крионасос. Классификация крионасосов. Принципы работы. Десублимация и адсорбция. Требования, предъявляемые к идеальному насосу. Коэффициенты прилипания и конденсации. Методы расчета вакуумных систем. Приборы для измерения низкого давления.

Процессы переноса в существенно неравновесных системах

Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации.

Задачи испарения и конденсации высокой интенсивности. Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации. Предельные потоки испарения-конденсации. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации, «сквозные» кинетические уравнения для пара и конденсата; расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики; предельные скорости и предельные потоки массы. Расчет "восстановительной" тепловой нагрузки при кипении сверхтекучего гелия.

Формы межфазных поверхностей при переносе массы, импульса, энергии. Классификация задач тепло-массопереноса через границы раздела фаз. Примеры приложений. Квазиравновесные и молекулярно-кинетические методы расчета. Сопоставление результатов применения соответствующих подходов для определения формы межфазных поверхностей при пленочном кипении недогретых жидкостей.

Теплофизические процессы в криосистемах

Основы механики двухфазных систем. Общая формулировка законов сохранения. Интегральная и дифференциальная формы. Законы сохранения массы, импульса, энергии для чистых веществ и бинарных смесей. Взаимодействие на границе раздела фаз: скорость движения границы раздела фаз, универсальные и специальные условия совместности.

Неадиабатные двухфазные потоки в каналах. Режимы течения двухфазных потоков. Кинематические модели для пузырькового, снарядного и эмульсионного режимов течения. Расчет истинного объемного паросодержания. Гидравлическая неустойчивость при движении газожидкостных потоков в одиночном канале и в системе параллельных каналов. Уравнение движения одномерного двухфазного потока. Анализ составляющих гидравлического сопротивления. Изменение паросодержания

и смена режимов течения по длине обогреваемых каналов. Уравнение энергии для равновесного потока. Влияние изменения паросодержания на гидравлическое сопротивление. Кризис кипения в каналах. Особенности гидродинамики и теплообмена при захлаживании трубопроводов потоком криогенной жидкости.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 6 семестр – экзамен кандидатского минимума.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Определение идеального газа. Чем отличается идеальный газ от реальных газов?
2. Размерности термодинамических параметров p , v , T , u , h , s и их физический смысл.
3. Уравнение состояния идеального газа.
4. Уравнение состояния реальных газов.
5. Определение газовой постоянной R , газовых смесей $R_{см}$. Универсальная газовая постоянная μR . Размерности.
6. Что такое теплота, работа, внутренняя энергия?
7. Первый закон термодинамики, формулировка.
8. Определение теплоемкости.
9. Формулировка второго закона термодинамики
10. Понятие о круговых процессах – циклах. Термический к.п.д. цикла.
11. Обратимый и необратимый циклы Карно и их к.п.д.
12. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.
13. Принцип работы холодильных установок. Холодильный коэффициент.
14. Принцип работы «теплового насоса». Коэффициент трансформации.
15. Понятие о равновесных и неравновесных, обратимых и необратимых процессах.
16. Понятие об энтропии, как термодинамическом параметре, характеризующем протекание необратимых процессов (переноса теплоты, массы, количества движения).
17. Теплопроводность, физическая сущность и механизм переноса теплоты в жидкостях и газах, в твердых телах и металлах.
18. Конвективный перенос тепла, механизм.
19. Перенос теплоты излучением, механизм.

20. Физическая сущность и механизм массообменных процессов.
21. Закон теплопроводности Фурье. Физическое содержание и размерности величин, входящих в закон Фурье.
22. Коэффициент теплопроводности жидкостей и газов, металлов и изоляционных материалов.
23. Каков физический смысл числа Прандтля? Чем объясняется сильное различие численного значения Pr у газов, жидких металлов и неметаллических жидкостей?
24. Как выражается аналогия переноса импульса и энергии в пограничном слое?
25. Как рассчитываются среднемассовые значения скорости, энтальпии и температуры при течении в канале?
26. Как изменяются закономерности течения и теплообмена по длине круглой трубы?
27. Как соотносятся толщины динамического и температурного пограничного слоев в зависимости от числа Прандтля?
28. Для каких парожидкостных систем подходит модель раздельного течения и в чем ее основные положения?
29. Как записывается универсальное условие совместности для потока энергии на межфазной границе жидкость—пар при фазовых превращениях умеренной интенсивности?
30. Какие параметры соприкасающихся фаз на их общей границе определяют в процессах тепломассообмена специальные условия совместности?
31. Что такое слой Кнудсена на межфазной границе?
32. Какова физическая природа кризиса пленочного кипения?
33. Понятия о собственном, эффективном и результирующем излучении.
34. Теплообмен излучением между телами
35. Основное уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи.
36. Перечислите термические сопротивления, возникающие в общем случае при конденсации парогазовой смеси на охлаждаемой стенке теплообменника-конденсатора.
37. Как изменяется по нормальной к межфазной поверхности координате полная энтальпия пара и его скорость при одномерном стационарном испарении и конденсации?
38. Сколько газодинамических величин надо задать для того, чтобы описать процесс одномерного стационарного испарения однокомпонентного вещества в полубесконечное пространство?

39. Сколько газодинамических величин надо задать для описания одномерной стационарной конденсации однокомпонентного вещества из полубесконечного пространства для до- и сверхзвуковых скоростей?

40. Какие методы решения кинетического уравнения Больцмана Вам известны? Перечислите достоинства и недостатки каждого из них.

41. От чего зависит плотность теплового потока при переносе теплоты через плоский слой газа в свободномолекулярном пределе? Приведите соответствующую формулу.

42. Как изображаются в пространстве: относительная температура, плотность, число Маха равновесие, испарение, дозвуковая и сверхзвуковая конденсация?

43. При каких условиях в режиме сверхзвуковой конденсации вблизи межфазной поверхности формируется скачок уплотнений?

44. Что такое коэффициенты испарения и конденсации? Сопоставьте результаты интерпретации экспериментальных данных при равенстве и неравенстве этих коэффициентов.

45. Как зависит предельное значение коэффициента конденсации от величины числа Маха конденсируемого чистого пара.

46. Чем отличаются экспериментальные зависимости плотности потока массы от разности температур пара и межфазной поверхности при конденсации паров металлов для относительно малых и больших чисел Маха?

47. Как связана интенсивность конденсации при криовакуумной откачке с температурой границы раздела фаз?

48. Каким образом можно найти предельное количество пара, при котором полностью запирается одномерная стационарная конденсация из парогазовой среды?

49. В каких случаях для расчета интенсивности конденсации из парогазовой среды применение традиционного чисто диффузионного подхода (модели эквивалентной ламинарной пленки) становится неправомерным?

50. Из решения какого уравнения сохранения можно получить распределение плотности пара по координате при его одномерном стационарном натекании на конденсирующую поверхность через парогазовую среду?

51. Перечислите параметры, определяющие степень неравновесности процессов переноса вблизи межфазных поверхностей.

52. Чем отличаются задачи закрытого типа от задач открытого типа?

53. Чему равен поток массы на межфазной поверхности в задачах закрытого типа при поступлении теплоты от нагревателя в пар?

54. Чем отличается решение задачи об определении формы межфазной поверхности при устойчивом пленочном кипении на нагревателях от традиционных гидростатических задач?

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Техническая термодинамика /В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А.Е. Шейндлин. М.: Издательский дом МЭИ. 2008. 496 с.
2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях. Учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 542с.
3. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. –М.: Физматлит, 2014. 731с.
4. Дмитриев А.С. Основы криофизики конденсированных систем. Учебное пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 134с.
5. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных систем. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
6. Крюков А.П. Процессы переноса в существенно неравновесных системах. М.: МЭИ, 2013. 124с.
7. Справочник по вакуумной технике и технологиям. Под ред. Д.Хоффман, Б.Сингха, Дж.Томаса III. Перевод с английского Ю.Л.Цвирко под ред. В.А. Романько, С.Б. Нестерова. М.: ТЕХНОСФЕРА. 2011. 736с.

Дополнительная литература

8. Красникова О.К. Витые теплообменные аппараты криогенных и теплоэнергетических установок. М.: КолосС, 2008. 176 с.
9. Применение многокомпонентных рабочих тел в низкотемпературной технике / Лунин А. И., Могорычный В. И., Коваленко В. Н. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. 100с.
10. Холодильные машины: Учебник /Под ред. Л.С. Тимофеевского. СПб.: Изд-во «Политехника», 1997.
11. Теплотехника / Под общей редакцией А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 792 с.
12. Крюков А.П., Пузина Ю.Ю. Формы межфазных поверхностей при переносе массы, импульса, энергии. М.: Издательство МЭИ, 2015.
13. Дмитриев А.С. Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2015. 790с.

14. Некоторые задачи теплообмена в однофазных и двухфазных системах, М.: Изд-во МЭИ. 2015 – 80с.